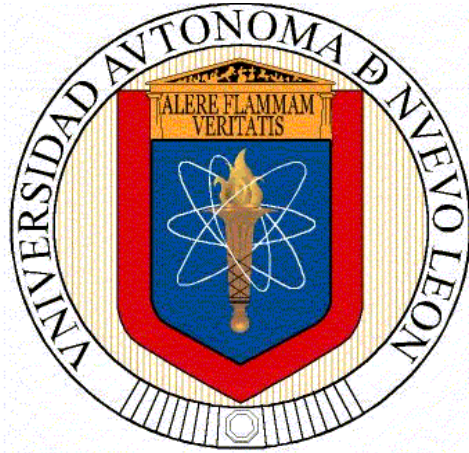


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**DIAGRAMAS DE MANEJO DE DENSIDAD PARA *Pinus cooperi* Y
Pinus durangensis EN DURANGO, MÉXICO**

PRESENTA

JUDITH JEZMIN CENTENO DERAS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

MAYO 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DIAGRAMAS DE MANEJO DE DENSIDAD PARA *Pinus cooperi* Y *Pinus durangensis* EN DURANGO, MÉXICO

TESIS DE MAESTRÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE**

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. JUDITH JEZMIN CENTENO DERAS

Linares, N.L., México

Mayo 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

DIAGRAMAS DE MANEJO DE DENSIDAD PARA *Pinus cooperi* Y *Pinus durangensis* EN DURANGO, MÉXICO

TESIS DE MAESTRÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

ING. JUDITH JEZMIN CENTENO DERAS

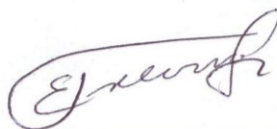
COMITÉ DE TESIS



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Director



Dr. Javier Jiménez Pérez
Secretario



Dr. Eduardo J. Treviño Garza
Vocal

Manifiesto que el presente trabajo aquí desarrollado fue para obtener el grado de Maestro en Ciencias Forestales. La información presentada es original y cuenta con apoyo de información de otros autores donde se dan los créditos correspondientes.

Ing. Judith Jezmin Centeno Deras
Mayo 2016

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el aporte económico para la realización de mis estudios de Maestría.

A la facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por aceptarme como estudiante de su programa de posgrado, al personal de la misma por sus excelentes atenciones, facilidades otorgadas y trato fraternal.

A la plantilla de profesores de la FCF, gracias por los conocimientos transmitidos y por su amabilidad.

A mi director de tesis Dr. Oscar Aguirre, por su apoyo profesional, por su tiempo, apoyo y dedicación.

A mi asesor externo Dr. Francisco Cobos por su interés y apoyo de mi trabajo de tesis, que en todos los años que hemos trabajado juntos siempre he tratado de aprender un poco de él.

A la UMAFOR 1008 por la confianza que me brindaron al proporcionarme la base de datos y la información necesaria para realizar este trabajo de Tesis.

A todos mis compañeros y amigos de Maestría en especial a Cristóbal, Inés, René, Gris, Oscar, Mike, Sígala, Ana, Miguel, Reynaldo, Santiago, Heriberto, Eduardo y a los que se me pasaron.

A una gran persona que se encuentra en mi vida que con su amor alimenta todo mi corazón y me da toda la fuerza para salir adelante y ser feliz todos los días.

DEDICATORIA

***A Dios por darme el don de la vida e
iluminarme día con día***

***A mi padre, Sr. Pedro Centeno Ramos por
enseñarme ser mi mayor motivación y
ejemplo a seguir, porque su amor me da
la fuerza necesaria para salir adelante
siempre.***

***A mi madre, Sra. Lucía Deras Olaguez
porque con su amor y ternura sé que
puedo enfrentar cualquier adversidad,
porque me ha enseñado que con
humildad, respeto, honradez y trabajo se
logra cualquier cosa.***

***A mis hermanas, Laura, Sandra y Nallely
por su amor, apoyo, comprensión y
confianza.***

RESUMEN

A partir de las relaciones entre variables dimensionales y la densidad de los rodales es posible construir los Diagramas de Manejo de Densidad (DMD), que permiten planificar y describir cuantitativamente las interrelaciones entre producción, densidad y mortalidad en diferentes etapas del desarrollo del rodal. Se desarrollaron los DMD para las especies *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* en Durango, México, vinculando las variables diámetro cuadrático medio y número de árboles, con medidas realizadas en rodales naturales, con ello se determinó el nivel de máxima competencia y el índice de densidad del rodal (IDR) y se elaboraron Diagramas de Manejo de Densidad.

ABSTRACT

From some of the relationships between parameters related to the size and the density of the stands it is possible to build the Stocking Management Charts (SMC), that allow to plan and to describe quantitatively the interrelations among production, density and mortality in several stages of the stand development. They were developed the SMC for *Pinus cooperi* and *P. durangensis* in Durango, México, linking the parameters quadratic mean diameter and number of trees, with measurements in natural stands, with that, the maximum level of competence and stand density index was determined and SMC were developed.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Concepto de la densidad e importancia.....	3
2.2 Métodos de determinación de la densidad	3
2.2.1 Índice de densidad del rodal de Reineke.....	4
2.2.2 Área basal por hectárea.....	5
2.2.3 Factor de competencia de copas	5
2.3 Usos de los diagramas de manejo de densidad	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. HIPÓTESIS	8
5. OBJETIVOS	8
5.1 Objetivo general.....	8
5.2 Objetivo específicos	8
6. METODOLOGÍA	9
6.1 Área de estudio	9
6.1.1 Clima	10
6.1.2 Suelo	10
6.1.3 Topografía.....	11
6.1.4 Hidrología	11
6.1.5 Tipos de Vegetación y superficie en hectáreas	12
6.2 Descripción de las especies de estudio.....	12
6.2.1 <i>Pinus durangensis</i> Martínez.....	12
6.2.2 <i>Pinus cooperi</i> Blanco.....	13
6.3 Obtención de los datos	13
6.4 Descripción de las variables utilizadas	14
6.4.1 Diámetro medio cuadrático	14
6.4.2 Altura dominante.....	14
6.4.3 Volumen.....	14
6.4.4 Número de árboles por hectárea.....	15
6.4.5 Índice de densidad de Hart-Becking	15
6.4.5.1 Desarrollo del índice de Hart-Becking	17
6.5 Elaboración de un diagrama de manejo de densidad	19
6.5.1 Proceso de construcción para los diagramas de manejo de densidad y el ajuste simultáneo.....	19
6.6 Determinación del límite de máxima densidad	20
7.2.1 Descripción de los datos	21
7.2.2 Límite de máxima densidad ajustado con el modelo de Reineke	21
7.2.3 Ajuste de la ecuación e incorporación del límite de superior de densidad	21
7.3 Planteamiento de esquemas de cortas usando los diagramas de manejo de densidad.....	22

7 RESULTADOS.....	24
8.1 Descripción de datos y variables utilizadas.....	24
8.2 Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste.....	26
8.3 Elaboración de Diagramas de Manejo de Densidad	28
8.4 Descripción de las variables de ajuste para la línea de máxima densidad.	30
8.5 Ajuste del modelo de Reineke	31
8.6 Ajuste del límite de máxima densidad en el DMD.....	31
8.7 Esquema de cortas silvícolas usando los diagramas de manejo de la densidad.....	32
8 CONCLUSIONES	35
10. BIBLIOGRAFÍA	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica del área de estudio	9
Figura 2. Desarrollo del índice de Hart-Becking.....	17
Figura 3. Relación Diámetro medio cuadrático-Número de árboles por hectárea de <i>Pinus cooperi</i>	24
Figura 4. Relación Diámetro medio cuadrático-Número de árboles por hectárea de <i>Pinus durangensis</i>	25
Figura 5. Diagrama de manejo de densidad para <i>Pinus cooperi</i> en el que se aprecian las distintas líneas de valores constantes (isolíneas) de volumen de rodal, diámetro medio cuadrático e índice de Hart-Becking.....	29
Figura 6. Diagrama de manejo de densidad para <i>Pinus durangensis</i> en el que se aprecian las distintas líneas de valores constantes (isolíneas) de volumen de rodal, diámetro medio cuadrático e índice de Hart-Becking.....	30
Figura 7. Ejemplo de aplicación de cortas un diagrama de manejo de densidad para <i>Pinus durangensis</i>	33
Figura 8. Ejemplo de aplicación de un diagrama de manejo de densidad para <i>Pinus cooperi</i>	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formula climática y tipo de clima	10
Tabla 2. Tipos de suelo presentes en el Predio	10
Tabla 3. Topografía general del predio.	11
Tabla 4. Marco hidrográfico del predio.....	11
Tabla 5. Tipos de vegetación presentes en el predio.....	12
Tabla 6. Valores de las variables dasométricas empleadas para la construcción de los diagramas de manejo para las especies de <i>Pinus cooperi</i> y <i>Pinus durangensis</i>	25
Tabla 7. Coeficientes de la regresión no lineal obtenidos al realizar el ajuste simultáneo del sistema de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para el <i>Pinus cooperi</i>	26
Tabla 8. Coeficientes de la regresión no lineal obtenidos al realizar el ajuste simultáneo del sistema de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para el <i>Pinus durangensis</i>	27
Tabla 9. Resultados del análisis de varianza y ajuste obtenido de realizar el ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones para calcular el diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para <i>Pinus cooperi</i> y <i>Pinus durangensis</i> en Durango.	28

1. INTRODUCCIÓN

Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son modelos estáticos de un rodal en los que se representa gráficamente la relación entre producción y densidad para los distintos estados de desarrollo del rodal. Su utilidad reside básicamente en que permiten realizar de una forma rápida y sencilla la comparación entre diferentes alternativas silvícolas de aclareos considerando distintos propósitos (producir madera de distintas dimensiones, reducir el tiempo requerido para algún objetivo específico, entre otros). Por lo tanto, el uso los Diagramas de Manejo de Densidad es una de las metodologías más efectivas para el diseño, representación y evaluación de regímenes de aclareos en rodales naturales.

Según Quiñones (2000), algunas de las aplicaciones de los DMD pueden ser las siguientes:

- Estimación de diámetros cuadráticos promedio.
- Estimación de la densidad y el grado de densidad.
- Clasificación de rodales por su densidad.
- Evaluación y estudio del comportamiento dinámico de rodales.
- Diseño de regímenes silvícolas.
- Análisis para la sustitución de rodales.

2. ANTECEDENTES

Dentro de un rodal forestal una de las pocas características que se puede controlar de manera eficiente y rentable es la densidad (Zeide, 2004, citado por Diéguez, 2009), pudiéndose utilizar para establecer regímenes silvícolas sencillos de aplicar. Conceptualmente, la gestión de la densidad es el proceso de control del espacio disponible para el crecimiento de los árboles por medio de dos herramientas: la densidad inicial de establecimiento y los aclareos posteriores (Long, 1985; Newton, 1997, citado por Diéguez, 2009).

La determinación de los niveles adecuados de densidad para una masa forestal en una situación determinada es un proceso complejo que depende de factores biológicos, tecnológicos, económicos y operacionales. Desde un punto de vista productivo, entre las diferentes alternativas silvícolas puede plantearse para un rodal forestal concreto un nivel óptimo como aquél que permite un máximo aprovechamiento de los recursos del sitio en el que se asienta. Este máximo aprovechamiento puede concebirse como un amplio rango de densidades, que varía entre un límite superior y otro inferior. El límite superior corresponde al nivel de densidad a partir del cual se produce mortalidad por competencia. Por su parte, el límite inferior se establece cuando todos los recursos del sitio son utilizados por los árboles del rodal de modo que cada uno de ellos asimila todo lo que su condición genética y edad le permite; es decir, cuando los individuos desarrollan su máxima capacidad de crecimiento. Por debajo de esa densidad límite inferior se pierde la capacidad productiva.

La adecuación de estos límites de densidad a un objetivo silvícola concreto es uno de los pasos más difíciles en la gestión de un rodal (Davis *et al.*, 2001, citado por Diéguez, 2009), y una de las formas más adecuadas para conseguirlo es la utilización de los Diagramas de Manejo de Densidad.

2.1 Concepto de la densidad e importancia

El concepto de densidad de un rodal está asociado al rango o grado de ocupación del espacio disponible para crecer; así existirán rodales en densidad normal, sobredensos y subdensos (Husch, B., Miller, C. and Beers, T. 1993 citado por Márquez, 1995). Para poder conocer con objetividad el grado de ocupación del espacio, es necesario establecer mediciones y construir índices. La mayoría de estos índices se basan en la relación que existe con la cantidad de árboles, su tamaño y su distribución espacial.

La importancia de la densidad se basa en ser una herramienta útil para indicar las condiciones de competencia que existen dentro de un rodal, así como la necesidad de tratamientos silvícolas, para la predicción del crecimiento y rendimiento de los bosques principalmente.

2.2 Métodos de determinación de la densidad

El crecimiento que puede alcanzar un bosque puede ser determinado en gran medida por dos factores:

- La capacidad productiva del rodal.
- La composición y cantidad de los árboles con capacidad de crecimiento que se encuentran en el sitio.

La primera característica describe al concepto de calidad de estación. En este trabajo se exponen los procedimientos para expresar y cuantificar el segundo factor que se refiere a la densidad.

Con el fin de evaluar la densidad del rodal han surgido varios métodos. Entre los más conocidos se pueden mencionar: el área basal, el índice de densidad

del rodal de Reineke, el factor de competencia de copas y el índice de espaciamiento relativo.

2.2.1 Índice de densidad del rodal de Reineke

El índice de Reineke relaciona -en el plano logarítmico-, el número de árboles por unidad de superficie con su diámetro medio cuadrático. Esta relación es lineal, al observar distintas unidades muestrales en el rodal, en el tiempo, y tiene una pendiente negativa. Reineke determinó un valor de -1.605 para varias especies independientes del sitio y la edad. La densidad se expresa en distintos niveles de la constante del modelo, y depende de las variaciones del micrositio dentro del rodal. A partir de este índice se deduce un modelo de clara interpretación biológica en la llamada “ley del autoaclareo” (Zunino, 1996).

El índice se construye para cada rodal a partir de una muestra de observaciones permanentes y/o temporales. Se ajusta una recta de la forma descrita y se genera una familia de curvas de densidad utilizando como índice 100% el valor promedio y el resto en forma paralela sobre y bajo la recta promedio. De esta manera es posible calcular para un rodal su nivel o índice de densidad normal, sobredenso y subdensos. Para muestras del rodal se observa diámetro y número de árboles, y se define su índice de densidad como aquella recta más cercana. Otra manera de utilizar este índice es definir un diámetro medio cuadrático fijo y se define la densidad normal como el número de árboles por hectárea esperado en la recta; así, todas las muestras que estén cerca de esa recta promedio recibirán como índice de densidad ese valor (Corvalán, *et.al.* 2006).

2.2.2 Área basal por hectárea

El área basal queda definida como la suma por unidad de superficie del área de todos los fustes a nivel de diámetro a la altura del pecho, es otra expresión combinada de diámetro normal y número de árboles. Del área basal y el número de árboles por unidad de superficie es directamente deducible el diámetro medio cuadrático, siendo estas dos las variables más empleadas para cuantificar la densidad de una masa forestal cuando el objetivo es predecir su crecimiento y su producción en madera. Las dos expresiones, área basal y diámetro medio cuadrático, son equivalentes y se utilizan como índice de densidad (Husch, 1993).

2.2.3 Factor de competencia de copas

El factor de competencia de copas o fracción de cabida cubierta se define como el porcentaje de superficie del rodal, en proyección horizontal, cubierta por la superficie de proyección de las copas. Este índice supone que los árboles que crecen aislados o libres de competencia pueden expresar el diámetro de su copa como una función lineal de su diámetro normal. Es decir, la suma de todas las áreas de copa de los distintos árboles en la superficie será igual a la suma de todas las máximas áreas de copa de todos los árboles y su factor de competencia de copas será ese valor dividido por la superficie que los contiene. Para hacer una estimación mediante este método se establecen puntos de muestreo mediante la superposición de una malla o retícula sobre el mapa. Una vez situados en dichos puntos hay que comprobar si existe una copa en la vertical.

2.3 Usos de los diagramas de manejo de densidad

Los diagramas de densidad pueden servir tanto para corroborar la aplicación de una cierta prescripción o tratamiento silvícola intermedio, como para verificar la

densidad y grado de densidad residual reportados o indicados en el programa de manejo forestal correspondiente (Zepeda, 1995).

Los diagramas de manejo de densidad resultan ser una herramienta de apoyo silvícola ideal para el manejo forestal sustentable del bosque, pues reúnen varios de los elementos necesarios para plantear tratamientos silvícolas y cortas finales. Si el interés básico para manejarlo se basa en la dinámica de las masas forestales, los diagramas de manejo de densidad son la mejor opción.

Entre las aplicaciones de los diagramas destacan las siguientes:

- El estado del rodal a la edad del turno se define por una altura dominante y un diámetro cuadrático del rodal.
- La frecuencia de los aclareos se basa en incrementos en altura dominante (H), de acuerdo con esquemas silvícolas propuestos para cada especie y se fija un límite superior de densidad equivalente a un índice de espacio relativo de crecimiento.
- La secuencia de los aclareos para alcanzar la cosecha final de la masa se obtiene ascendiendo paso a paso hacia atrás, teniendo en cuenta el límite superior de densidad y el intervalo de cada corta.
- La edad de los aclareos y de la corta final se pueden determinar construyendo curvas de índice de sitio.
- Proporcionan una salida gráfica de la información, facilitando su uso práctico por parte de los manejadores.
- Permiten diseñar y evaluar diferentes alternativas de cortas de una forma rápida y efectiva.
- Pueden construirse con datos de parcelas inventariadas una sola vez.
- Permiten incluir información de diverso tipo (por ejemplo captura de carbono, biomasa, etc.), facilitando la obtención de diferentes objetivos.
- Si se cuenta con más de una medición de las parcelas de muestreo se puede añadir una ecuación de mortalidad
- Se puede incluir información para valorar la estabilidad mecánica de la masa frente al viento empleando el coeficiente de esbeltez.

- Son sencillos de utilizar y requieren variables de entrada fáciles de obtener en campo.

3. JUSTIFICACIÓN

Unas de las formas más sencillas de manejar un bosque es controlando la densidad, hay muchas maneras de hacerlo, para este trabajo se utilizó un índice de Hart-Becking el cual se basa en la relación que existe entre el espaciamiento medio de los árboles y su altura dominante, expresada en porcentaje, el hecho de elegir este índice es que se basa en altura que es un indicador de productividad.

El objetivo de este trabajo además de conocer el rango óptimo de donde se desarrollan las especie de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* fue elaborar dos diagramas de manejo de densidad, en los que estén representados gráficamente la densidad de la masa, altura dominante, diámetro medio cuadrático y volumen de la masa. Los diagramas de manejo de densidad son modelos que ilustran gráficamente las relaciones entre producción, densidad y mortalidad durante las etapas de desarrollo de las masas forestales.

Mediante el empleo de diagramas de manejo de densidad se puede planificar y diseñar el régimen silvícola (aplicación de cortas) más adecuado para un sitio, basándose en los límites máximos y mínimos de densidad.

La decisión silvícola tomada dentro de los límites de máxima densidad busca maximizar la producción de madera, minimizando el tiempo de obtención de la misma. Uno de los mejores controles sobre el desarrollo del bosque se obtiene a través del manejo de la densidad de los rodales, para este caso en sitios naturales.

De acuerdo a lo anterior, y tomando en cuenta que en gran parte de las áreas bajo manejo forestal en el estado de Durango se carece de una herramienta que permita regular la densidad forestal en los rodales bajo manejo es que se han elaborado los diagramas de manejo de densidad en el marco del presente trabajo.

4. HIPÓTESIS

La productividad forestal se puede representar gráficamente mediante diámetro medio cuadrático, altura dominante y volumen; permitiendo una planificación de aclareos basados en un límite superior de densidad en un rodal determinado.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Determinar los rangos óptimo de densidad de las especies de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* dentro de los rodales naturales en los cuales se desarrollan.

5.2 Objetivo específicos

- Elaborar Diagramas de Manejo de Densidad para las especies *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis*.
- Proponer niveles de densidad de referencia para apoyar la planificación de prácticas silvícolas.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en el ejido “La Ciudad” ubicado en el municipio de Pueblo Nuevo, al Suroeste del estado de Durango. Geográficamente se localiza en los paralelos 23°43'52" y 105°34'21" de longitud al oeste (Upalia, 2002).

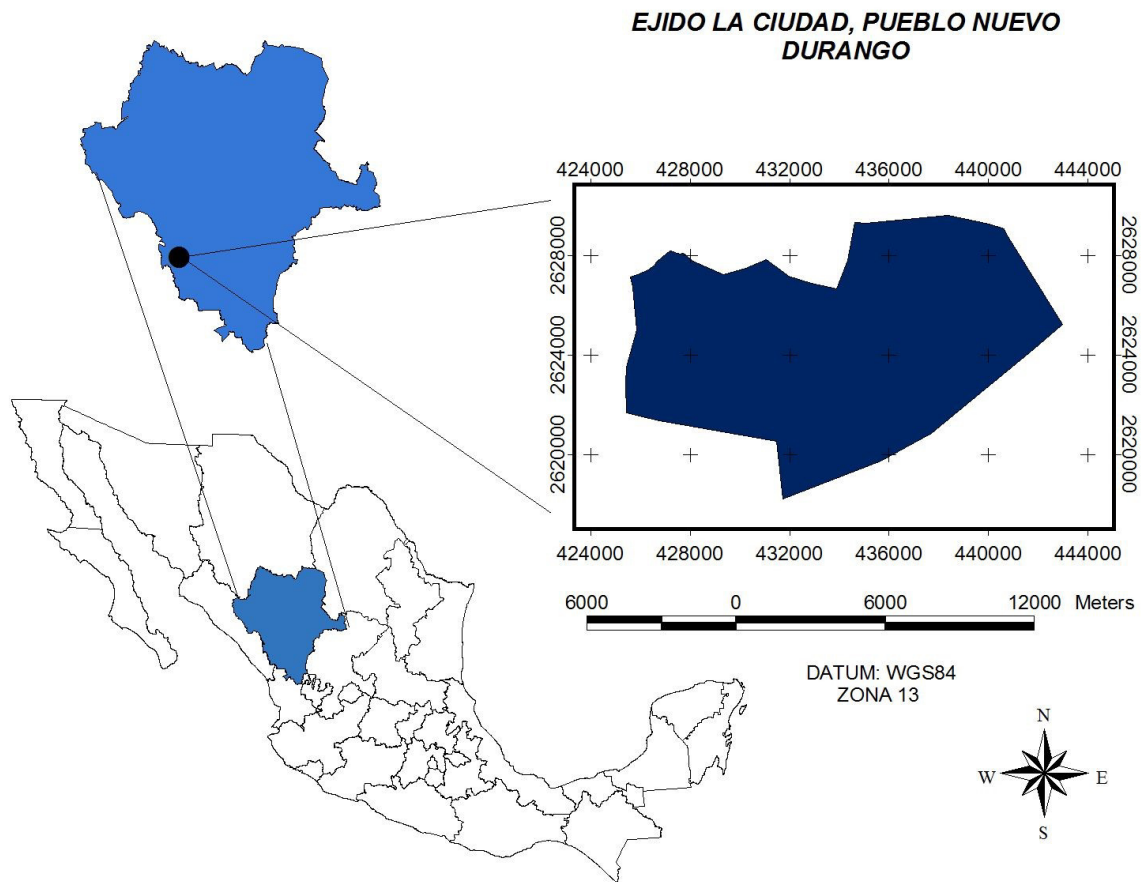


Figura 1 Ubicación geográfica del área de estudio

6.1.1 Clima

Según la clasificación climática de Köppen adaptada para México por García (1981), el clima presente en el Predio se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Formula climática y tipo de clima

Formula climática	Descripción
C(W2)	Clima templado subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm
C(E)(M)	Clima semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano con porcentaje de precipitación invernal mayor de 5 mm.
C(E)(W2)	Semifrío Subhumedo con lluvias en verano. Con un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm

6.1.2 Suelo

De acuerdo con el INEGI (2010), carta de edafología Serie II escala 1:250,000 los datos de suelo se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de suelo presentes en el Predio

Unidad de Suelo	Descripción de la Unidad de suelo predominante en el predio
Litosol	Es un suelo de distribución muy amplia, se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo, con profundidad menor a 10 cm, tiene características muy variables, según el material que los conforma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentre, pudiendo ser desde moderada a alta.
Cambisol	El cambisol es un suelo joven poco desarrollado de cualquier clima, excepto zonas áridas; en el subsuelo tiene una capa con terreno que presenta un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc. Susceptibilidad de moderada a alta a la erosión.
Regosol	Se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación, son de susceptibilidad variable a la erosión.
Subunidad de suelo Eutrico	Profundidad 10 cms
	Clase textural MEDIA
	Pedregosidad 15%

6.1.3 Topografía

Los datos topográficos del predio se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Topografía general del predio.

SISTEMA MONTAÑOSO		SIERRA MADRE OCCIDENTAL	
Provincia Fisiográfica		Gran Meseta y Cañones duranguenses	
Altitud	Máxima (msnm)	2590	
	Mínima(msnm)	2220	
EXPOSICION		PENDIENTE	
EXPOSICION	%	RANGO	%
Norte (N)	30.84	0% a 9%	3.81
Noreste (NE)	9.49	10% a 19%	65.87
Este (E)	13.90	20% a 29%	18.71
Sureste (SE)	4.53	30% a 39%	6.71
Sur (S)	13.33	40% a 49%	3.34
Suroeste (SW)	8.43	50% a 59%	1.09
Oeste (W)	15.08	60% a 69%	0.26
Noroeste (NW)	4.40	70% a 79%	0.20
TOTAL	100.00	TOTAL	100.00

6.1.4 Hidrología

De acuerdo con el INEGI en la carta hidrográfica escala 1:50,000 edición 2.0 2010 (Simulador de cauces) los datos de hidrología del predio se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Marco hidrográfico del predio

Región Hidrológica	Cuenca	Sub cuenca	Micro Cuenca	Corrientes permanentes (P) e intermitentes (I)	
				Nombre	Longitud (km)
11 "Presidio-San Pedro"	C "Rio Baluarte"	C	01, 02	Permanente	15.86
11 "Presidio-San Pedro"	C "Rio Baluarte"	D	01, 02	Intermitente	36.41

6.1.5 Tipos de Vegetación y superficie en hectáreas

De acuerdo con el INEGI serie II las comunidades vegetales más importantes del Predio están compuestas por bosques mezclados con especies del género *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas, siendo los tipos de vegetación más representativos los siguientes (PRO FLORESTA S.C. 2008. Estudio Regional Forestal UMAFOR 1008):

Tabla 5. Tipos de vegetación presentes en el predio

Tipo de vegetación	Superficie (ha)	Superficie (%)
Bosque de Pino	1680.94	13.91
Bosque de Pino Encino	9522.51	78.82
Bosque de Encino Pino	50.64	0.42
Bosque de Encino	47.02	0.39
Otros usos (No forestales)	780.59	6.46
SUPERFICIE TOTAL DEL PREDIO	12081.70	100.00

6.2 Descripción de las especies de estudio

6.2.1 *Pinus durangensis* Martínez

Es una especie cuya zona de distribución se limita a los estados de Durango y Chihuahua, específicamente en la región occidental, forma macizos y generalmente se encuentra asociada con otras especies de *Pinus* como *Pinus leiophylla*, *P. cooperi* Ornelasi y *P. teocote*.

Pinus durangensis llega a tener crecimientos en altura hasta de 120 cm anuales durante los primeros años pero más comúnmente se observan de 50 a 60 cm; se han observado múltiples ejemplares de 125 años con diámetros de 1.20 m. Se desarrolla en suelos sílico-humíferos y permeables de profundidad que varía entre 15.25 cm y hasta 50 cm, se le ve en terrenos llanos y en pendientes hasta 50° y se observa que se adapta a terrenos pobres.

Puede considerarse como productor de resina, pero su aprovechamiento se dificulta por la altura en la que se desarrolla, la cual es de 2500 a 2800 m. La madera es de color blanco amarillento o marfílco de textura compuesta de buena calidad, útil en construcciones. Cuando el árbol vegeta en terrenos profundos y planos resulta blanda y de poca resistencia a la flexión y a la torsión (Upalia, 2002).

6.2.2 *Pinus cooperi* Blanco

Esta especie se distribuye ampliamente en el Estado de Durango y la región Suroeste de Chihuahua. Puede encontrarse en terrenos húmedos y profundos, se ve asociada con la especie *Pinus leiphylla*. Es un árbol de 20 a 30 metros de altura, por 40 a 75 cm de diámetro, de copa redondeada y densa; corteza de color negro ceniciento, algo rugosa con fisuras poco profundas y placas anchas y alargadas, de 2 a 3.5 cm de espesor; ramas extendidas o algo colgantes, ramillas de color moreno rojizo, frecuentemente con tinte azulado en sus partes tiernas. Su madera es de buena calidad, de color amarillento, propia para carpintería y toda clase de construcciones. Su nombre común es “albacarrote” (Upalia, 2002).

6.3 Obtención de los datos

Para la realización de este trabajo se obtuvo información de 776 sitios de un muestreo estratificado sin reemplazo proporcionados por la UMAFOR 1008. Los sitios muestreados fueron de forma circular, con superficie de 1000 m², de los cuales se consideraron árboles con diámetro mayor a 10 cm a los que se les hizo la medición de altura y diámetro normal, mediante los cuales se obtuvieron las variables dasométricas que se utilizaron para obtener: número de árboles por hectárea, altura dominante, diámetro medio cuadrático y volumen para cada una de las especies.

6.4 Descripción de las variables utilizadas

Los procedimientos de cálculo para la obtención de los parámetros dasométricos de interés son los siguientes:

6.4.1 Diámetro medio cuadrático

Es el diámetro normal correspondiente al árbol de área basal media, su valor por lo tanto se puede determinar a partir del área basal del sitio y a partir de la densidad.

$$Dq = \sqrt{\Sigma d^2 / N} \quad [6-1]$$

Donde Dq es el diámetro medio cuadrático en centímetros, d es el diámetro normal en cm y N es el número de árboles por hectárea.

6.4.2 Altura dominante

La altura dominante fue considerada como aquella que corresponde a la media de las alturas de los 100 árboles más gruesos por hectárea (ASSMANN, 1970). Para su determinación se emplearon los datos de los árboles dominantes medidos en cada sitio.

$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} h_{oi}}{n_o} \quad [6-2]$$

Donde H es la altura dominante en metros, h_{oi} es la altura del árbol dominante, i y n_o es el número de árboles dominantes medidos en los sitios.

6.4.3 Volumen

Se determinaron los volúmenes totales con corteza para cada individuo muestreado a partir de la tarifa específica de doble entrada, en base al modelo

de Schumacher-Hall (alométrica) ya que para la región es la que obtuvo mejor ajuste (ITES, 2011).

$$V = \beta_0 * d^{\beta_1} * h^{\beta_2} \quad [6-3]$$

Dónde V es igual al volumen total de los árboles (incluye el volumen de las ramas cuyo diámetro a la base superaba los 5 cm), d es el diámetro normal, h es la altura total, y b_i son los valores de los parámetros específicos (únicos para cada especie del modelo).

6.4.4 Número de árboles por hectárea

La densidad expresada como en número de árboles por hectárea, se determinó a partir de los datos del número de árboles inventariados ($dap \geq 10$ cm) en cada sitio empleando la siguiente ecuación:

$$N = \sum \frac{10,000 * n}{S_i} / N_{sitios} \quad [6-4]$$

Donde N es la densidad en árboles por hectárea, S_i (m^2) es la superficie del sitio i en proyección horizontal y n es el número de árboles del sitio i , y N sitios es el número de sitios analizados.

6.4.5 Índice de densidad de Hart-Becking

También conocido como coeficiente de espaciamiento, se define como la relación entre el espaciamiento medio del arbolado (e) y su altura dominante (H), expresada en porcentaje, según la fórmula siguiente:

$$IH(\%) = k * \frac{100}{\sqrt{N} * H} * 100 \quad [6-5]$$

Este índice ha sido utilizado para caracterizar la densidad en un rodal natural o dentro de una plantación. La fórmula para determinar la densidad por medio de este índice se basa en lo siguiente: el espaciamiento medio (e) se deduce de la densidad (N), existiendo distintos marcos de distribución uniforme (marco real o tresbolillo), y la altura dominante (H) se define como la media de los 100 árboles más gruesos por hectárea (Assman, 1970). De este modo, según los parámetros citados anteriormente, existen las siguientes fórmulas para el cálculo del espaciamiento medio (e) según la distribución:

- Marco de distribución real:

$$N = \frac{10,000}{e^2} \quad [6-6]$$

- Marco de distribución tresbolillo:

$$N = \frac{20,000}{\sqrt{3} * e^2} \quad [6-7]$$

El espaciamiento más adecuado para los bosques no repoblados (o naturales), que son la mayoría, es el que se obtiene del marcos de distribución tresbolillo, puesto que en comparación con el distribución marco real, cabe un mayor número de árboles por hectárea y es esta la situación que se da con más frecuencia.

De acuerdo a su fácil uso e interpretación para determinar los niveles de la densidad y aplicación de aclareos se elaboró un Diagrama de Manejo de Densidad basado en el índice de Hart-Becking, utilizando el espaciamiento de distribución tresbolillo.

6.4.5.1 Desarrollo del índice de Hart-Becking

Para desarrollar la fórmula en el índice de Hart-Becking se empleó la figura en donde cada número representa el árbol más cercano, teniendo en cuenta que existe un espacio denotado por el método tresbolillo, teniendo como figura geométrica hexágonos y triángulos representando así el índice de espaciamiento (Figura 2).

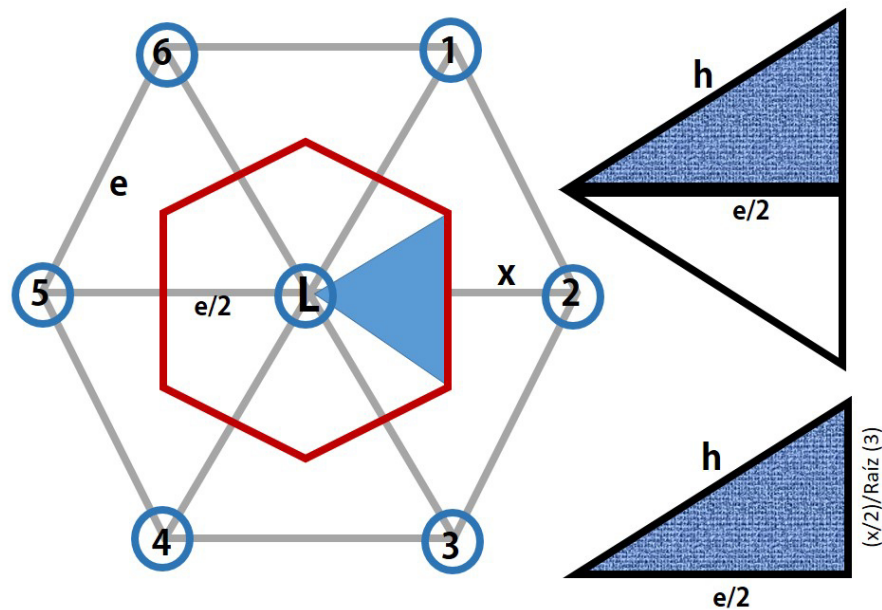


Figura 2. Desarrollo del índice de Hart-Becking

En donde:

El espacio de crecimiento entre árboles está denotado por (e)

El valor de la base del triángulo está denotado por (x)

La superficie del árbol es representada por (L)

Altura dominante expresada por (h)

Determinación del valor de (x) en base al triángulo

El valor de $x/2$ está determinado por el teorema de Pitágoras:

$$x^2 = \frac{e^2}{2^2} + \frac{x^2}{2^2} = x^2 - \frac{x^2}{4} = \frac{e^2}{4} = \frac{3}{4}x^2 = \frac{e^2}{4}$$

$$\frac{3}{4}x^2 = \frac{e^2}{4} \approx x^2 = \frac{e^2}{3} = \frac{e}{\sqrt{3}}$$
[6-8]

El área del triángulo está dada por:

$$\text{Área del triángulo} = \frac{x*(e/2)}{2} = \frac{(e/\sqrt{3})*(e/2)}{2} = \frac{e^2/(2*\sqrt{3})}{2} = \frac{e^2}{4\sqrt{3}}$$
[6-9]

El área del hexágono está dada por:

$$\text{Área del hexágono} = \frac{6*e^2}{4\sqrt{3}} = \frac{3*e^2}{2\sqrt{3}} = \frac{3^{1/2}*3^{1/2}*e^2}{2*3^{1/2}} = \frac{e^2*\sqrt{3}}{2}$$
[6-10]

La superficie del árbol está dada por la ecuación

$$L \text{ (m}^2\text{)} = \frac{e^2*\sqrt{3}}{2}$$
[6-11]

En una hectárea (10,000 metros cuadrados) habrá la siguiente relación en cuanto al número de árboles (N) por unidad de superficie (L):

$$10,000 = \frac{\sqrt{3}*e^2}{2} * N$$
[6-12]

El espacio entre los árboles en tresbolillo se despeja de la siguiente manera:

$$e^2 = \frac{20,000}{\sqrt{3}*N} = e = \sqrt{\frac{20,000}{\sqrt{3}*N}}$$
[6-13]

Finalmente el Índice de **Hart-Becking** en % se deriva de la siguiente forma:

$$IH = \frac{e}{Hd} = \text{subtituyendo en (e)} = \frac{\sqrt{\frac{20,000}{\sqrt{3}*N}}}{Hd} * 100$$
[6-14]

6.5 Elaboración de un diagrama de manejo de densidad

6.5.1 Proceso de construcción para los diagramas de manejo de densidad y el ajuste simultáneo

Para construir un diagrama de manejo de densidad y realizar el ajuste de ecuaciones se empleó el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML), con el procedimiento MODEL del paquete estadístico SAS/ETS 9.0.

La construcción de un diagrama de manejo implica 4 pasos:

- 1) Representación del número de árboles por hectárea (N) en el eje vertical (en escala logarítmica) y la altura dominante (H) en el eje horizontal.
- 2) Representación de las isolíneas para el índice de Hart-Becking despejando la densidad (N) en la expresión matemática de este índice, haciendo así una distribución de los árboles a tresbolillo y usando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{20,000 * 100^2}{\sqrt{3} * H^2 * H^2} \quad [6-15]$$

Las isolíneas para el diámetro medio cuadrático (dg) se obtienen de la ecuación [6-1]. Fijando dg como constante y despejando la densidad (N) para distintos valores de alturas dominantes (H) se obtiene la siguiente ecuación:

$$dg = \beta_0 * N^{\beta_1} * H^{\beta_2} \quad \Rightarrow \quad N = \left(\frac{dg}{\beta_0 * H^{\beta_2}} \right)^{\frac{1}{\beta_1}} \quad [6-16] \text{ y } [6-17]$$

Los valores del diámetro medio cuadrático representados varían entre el máximo y mínimo observado en las parcelas de muestreo.

- 1) Las isólineas para el volumen del rodal permiten estimar la productividad del rodal y se obtienen sustituyendo la ecuación [6-16] en la ecuación [6-18] y despejando de la densidad (N) en función de la altura dominante (H) dejando constante el volumen del rodal (V).

$$\left. \begin{array}{l} dg = \beta_0 * N^{\beta_1} * H^{\beta_2} \quad [6-16] \\ V = \beta_3 * dg^{\beta_4} * H^{\beta_5} * N^{\beta_6} \quad [6-17] \end{array} \right\} N = \left[\frac{V}{(\beta_3 * \beta_0^{\beta_4}) * H^{(\beta_2 * \beta_4 + \beta_5)}} \right]^{\frac{1}{(\beta_1 * \beta_4 + \beta_6)}} \quad [6-18]$$

Dado que en las ecuaciones [6-16] y [6-17] presentan una variable instrumental (dg), es decir en la ecuación [6-16] esta variable es dependiente y en la ecuación [6-17] es independiente, es necesario realizar el ajuste de sus parámetros de manera simultánea para evitar la correlación de los errores entre ambas ecuaciones.

6.6 Determinación del límite de máxima densidad

La función que expresa la máxima densidad, se considera de vital importancia dentro de un diagrama de densidad, dada su utilización posterior para la simulación de la mortalidad natural y la planificación de la producción total en la aplicación de los aclareos. Si esta línea de máxima densidad no es ajustada con datos reales, se corre el riesgo de estar dejando crecer el rodal a niveles de población muy elevados o peor aún, inalcanzables y con ello sesgar la estimación de las densidades y la producción.

6.6.1 Descripción de los datos

Se contó con una base de datos que incluye 776 sitios de los cuales 283 son de *Pinus cooperi* teniendo 122,693 árboles y 493 sitios de *Pinus durangensis* con 247,302 individuos, presentando diferentes diámetros, alturas dominantes, número de árboles y volumen.

6.6.2 Límite de máxima densidad ajustado con el modelo de Reineke

El número de árboles por hectárea para una densidad completa varía dependiendo del diámetro del rodal, por lo que es necesario considerar una curva que muestre el número de árboles por hectárea para todos los diámetros promedio a partir de la ecuación de Reineke (Reineke, 1993; Pretzsch, 2009; Santiago *et al.*, 2013). Esta curva puede ser representada por la ecuación [6-19] y su forma linealizada en la ecuación [6-20].

$$N = a_1 * dg^{a_2} \quad [6-19]$$

$$\ln N = \ln a_1 + a_2 * \ln dg \quad [6-20]$$

Donde N es el número de árboles, dg es el diámetro medio cuadrático, \ln logaritmo natural y, α_1 (intercepto al origen) y α_2 (pendiente de la curva de referencia) son parámetros a estimar.

6.6.3 Ajuste de la ecuación e incorporación del límite de superior de densidad

Uno de los métodos utilizados para estimar el límite de máxima densidad es el método de mínimos cuadrados. A través de este método, se calcula una curva media de la nube de puntos, de la cual siempre hay que asegurarse que la línea

de máxima densidad estimada involucré a todos los datos y que pase por los puntos de mayor densidad. Para obtener el límite de máxima densidad expresado en los diagramas se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = [a_1 * \beta_1^{a_2} * H^{\beta_3 * a_2}]^{1/(1-\beta_2 * a_2)} \quad [6-21]$$

Donde N es el número de árboles, H es la altura dominante y α_1 , α_2 , β_1 , β_2 y β_3 son parámetros a estimar.

6.7 Planteamiento de esquemas de cortas usando los diagramas de manejo de densidad

Para calcular el crecimiento y la producción de un rodal en algún momento, la aplicación del diagrama de manejo forestal es una herramienta muy útil, y para esto es necesario disponer de la información de las siguientes variables: número de árboles por hectárea, altura dominante y diámetro medio cuadrático; ya que combinadas en el diagrama permiten hallar el resto. El volumen es generalmente la variable de producción que se pretende estimar y por tanto se extrae de su observación en el diagrama. Lo más laborioso de los diagramas es establecer una altura dominante y un diámetro medio cuadrático finales, a los que se pretende llegar según los intereses productivos que se tengan, y a partir de éstos determinar el resto de las variables.

Una importante ventaja que tiene el uso de los diagramas es que no se basan en ninguna hipótesis de evolución del número de árboles por hectárea, como ocurre con las tablas de producción, sino que es el usuario quien fija su propio esquema, proponiendo cortas en un momento adecuado.

En la utilización de los diagramas de manejo existen tres factores que determinan los esquemas de cortas:

1. El estatus de la masa a la edad de rotación, definido por cualquier combinación lógica de dos de las siguientes variables: H , Dg , N o V .
2. Los límites inferior y superior de densidad definidos por un valor del índice de Hart-Becking.
3. La frecuencia de los aclareos basada en incrementos en altura dominante (H).

Aunque usualmente los objetivos son determinados de acuerdo a la producción de madera, también podrían establecerse por cualquier otra variable que se pudiera relacionar, al menos, con el número de árboles por hectárea y la altura dominante, pudiendo además incluir cualquier otra de las variables que se encuentran dentro del diagrama (Dean y Baldwin, 1993 citado por Reyes *et. al.* 2011).

La frecuencia de los aclareos, al menos desde el punto de vista biológico, debe ser definida por el crecimiento en altura dominante (la cual depende de la especie y la calidad de estación), y por el espaciamiento inicial de los árboles. Para el caso de Durango se ha empleado un criterio de crecimiento en altura dominante de 3 metros para definir el intervalo para realizar aclareos.

7. RESULTADOS

7.1 Descripción de datos y variables utilizadas

Se graficó el número de árboles y el diámetro medio cuadrático, debido a que juntos son un indicador del grado de densidad que se tiene dentro de un sitio. Las Figuras 3 y 4 muestran un grado de asociación negativo con valores de -0.5498 para la especie de *Pinus cooperi* y -0.4018 para *Pinus durangensis*, esto explica que a medida que incrementa el diámetro se reduce el número de árboles.

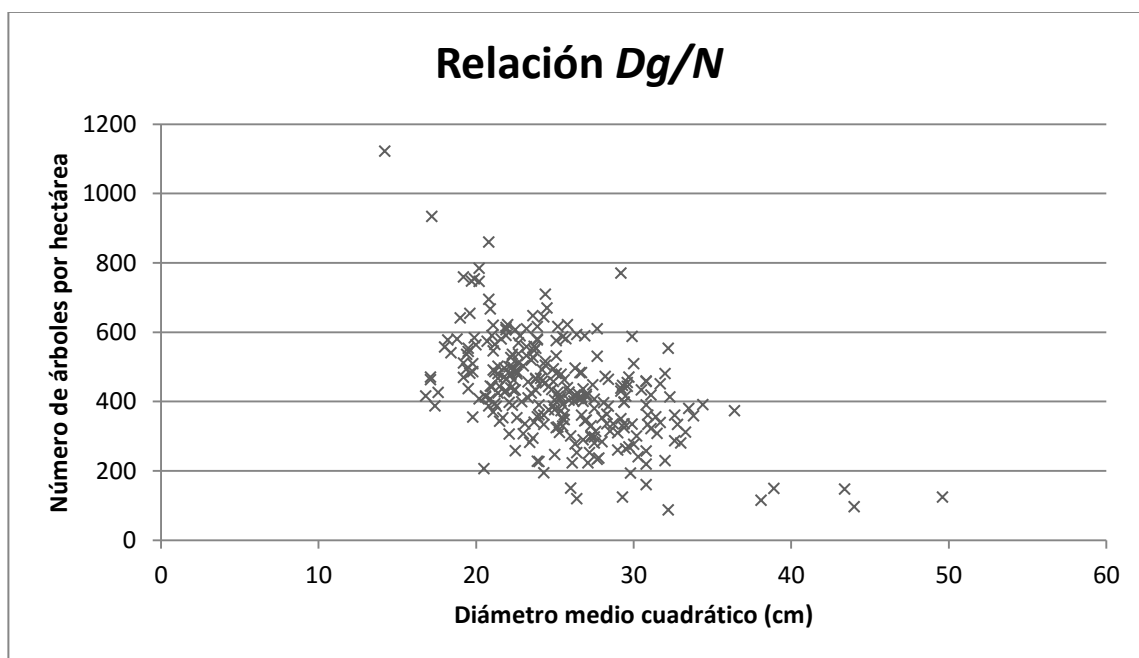


Figura 3. Relación Diámetro medio cuadrático-Número de árboles por hectárea de *Pinus cooperi*

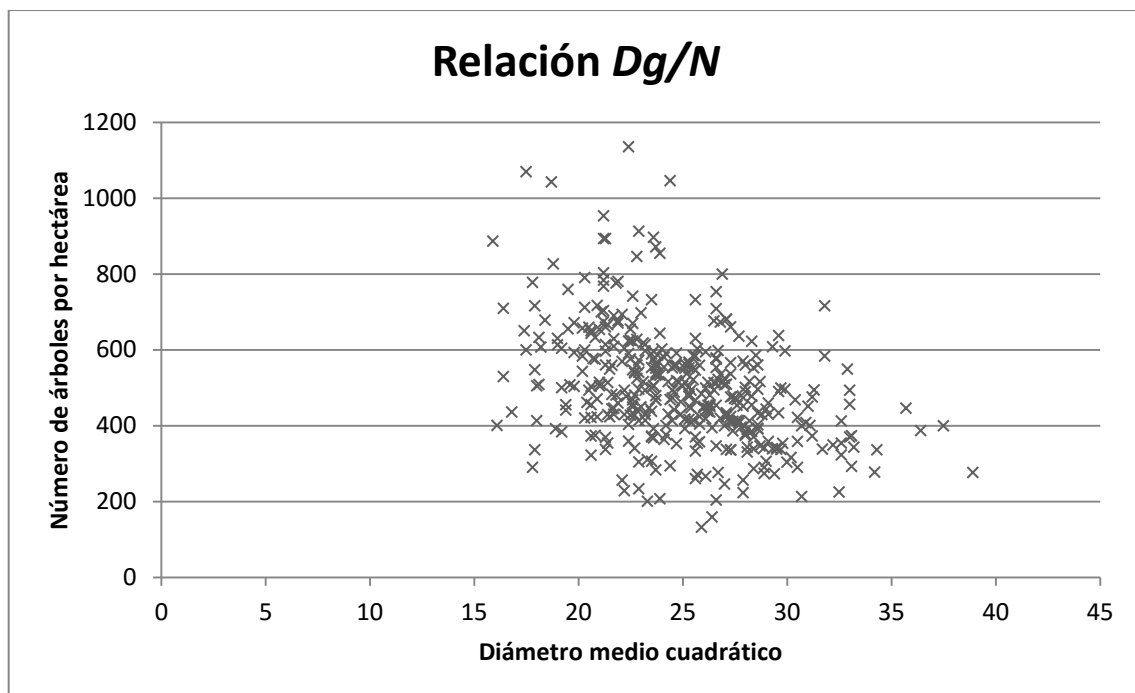


Figura 4. Relación Diámetro medio cuadrático-Número de árboles por hectárea de *Pinus durangensis*

La tabla 6 muestra un resumen estadístico con la media y los límites mínimos y máximos correspondientes a las variables requeridas para la construcción de los diagramas de densidad.

Tabla 6. Valores de las variables dasométricas empleadas para la construcción de los diagramas de manejo para las especies de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis*.

Especie	Parámetro	Media	Mín	Máx
<i>P.cooperi</i>	N/ha	432.4	124	784
	DQ (cm)	25.28	16.8	36.4
	H(m)	18.63	10.2	24.4
	V (m ³)	206.17	54.6	550.2
<i>P. durangensis</i>	N/ha	499.63	132	1135
	DQ (cm)	24.85	15.9	38.9
	H(m)	19.38	13.2	24.6
	V (m ³)	157.18	62.14	598.3

7.2 Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste

Previa elaboración del diagrama de manejo de densidad se ajustaron simultáneamente las funciones [6-16] y [6-18] dado que las estimaciones son más eficientes si todas las ecuaciones se evalúan en conjunto, creándose así un sistema de ecuaciones donde N y H aparecieron como variables exógenas mientras que Dg se muestra como variable instrumental.

Para la realización de este ajuste se empleó la sentencia FIML del procedimiento PROCES MODEL, disponible en el paquete estadístico SAS 9.0.

Mediante ello se estimaron los parámetros de regresión que componen las ecuaciones, a su vez se comprobó que son significativos para el ajuste, mediante sus estadísticos de regresión.

Los estadísticos analizados son: la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2), el cual explica el grado de asociación que existe entre la variable dependiente e independiente, en un grado porcentual. Los mejores ajustes se obtuvieron en las ecuaciones que estiman el volumen del rodal (ecuación [6-18]); logrando explicar más del 96% de la variabilidad observada en ambas especies (Tabla 7 y 8). Con respecto a la ecuación que estima el diámetro medio cuadrático (ecuación [6-16]), se obtuvieron valores del coeficiente de determinación ajustado mayores de 0.59 para las dos especies de pino.

Tabla 7. Coeficientes de la regresión no lineal obtenidos al realizar el ajuste simultáneo del sistema de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para el *Pinus cooperi*.

Coeficientes	Estimación	Error estándar	Valor t	$Pr > t $
B0	9.537874	1.7019	5.60	<.0001
B1	-0.20563	0.0176	-11.66	<.0001

B2	0.753386	0.0449	16.77	<.0001
B3	0.000045	8.849E-6	5.08	<.0001
B4	1.892277	0.0810	23.37	<.0001
B5	1.043039	0.0198	52.67	<.0001
B6	0.98577	0.0865	11.40	<.0001

Tabla 8. Coeficientes de la regresión no lineal obtenidos al realizar el ajuste simultáneo del sistema de dos ecuaciones para el cálculo del diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para el *Pinus durangensis*.

Coeficientes	Estimación	Error estándar	Valor t	Pr > t
B0	3.169281	0.5037	6.29	<.0001
B1	-0.14626	0.0132	-11.05	<.0001
B2	0.997315	0.0398	25.06	<.0001
B3	0.000123	0.000018	6.96	<.0001
B4	1.682356	0.0655	25.68	<.0001
B5	0.979045	0.0140	70.16	<.0001
B6	0.990785	0.0637	15.56	<.0001

Para la estimación de los diagramas se utilizaron las variables de diámetro medio cuadrático (Dq), altura dominante (H), volumen (V) y número de árboles por hectárea (N), obtenidas mediante el programa S.A.S 9.0, dando como resultado los parámetros que lograron ser significativos, obteniendo resultados de ajuste que muestran un buen rendimiento para ambas ecuaciones, con buena precisión y una significancia de todos sus parámetros a un nivel de 1%, por lo que se dieron por válidos coeficientes y con ellos se trabajó para la obtención para las isolíneas.

A continuación se presenta la tabla de los resultados de ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones:

Tabla 9. Resultados del análisis de varianza y ajuste obtenido de realizar el ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones para calcular el diámetro medio cuadrático y el volumen de masa para *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* en Durango.

Ecuación	<i>Pinus cooperi</i>		<i>Pinus durangensis</i>	
	Dq	Vol	Dq	Vol
DF Modelo	3	4	3	4
DF Error	279	278	490	489
SSE	2,184.8	56, 072.4	2,965	112,449
MSE	7.8308	201.7	6.0510	230
Raíz MSE	2.7983	14.202	2.4598	15.1657
R ²	0.5938	0.9669	0.5965	0.9642
R ² ajustada	0.5908	0.9665	0.5949	0.9639

7.3 Elaboración de Diagramas de Manejo de Densidad

Para la construcción de los DMD, se empleó primeramente la ecuación [6-16], la cual permitió estimar los coeficientes b_0 , b_1 y b_2 que se emplearon en la construcción del diagrama, a partir del diámetro medio cuadrático (dg), número de árboles por hectárea (N) y la altura dominante del rodal (H).

Con la segunda ecuación [6-18] se estimaron b_3 , b_4 , b_5 y b_6 , por medio del volumen del rodal (V), la altura dominante (H), el diámetro medio cuadrático (dg) y el número de árboles por hectárea (N).

En ambas ecuaciones se fijaron las variables número de árboles N (eje de ordenadas), y la altura dominante H (eje abscisas). Mediante el programa Excel®, se generaron cuadros para cada valor de N que surgieron a partir de las ecuaciones anteriores, despejando en cada una de ellas el número de árboles por hectárea N y fijando distintos valores para el índice de Hart-Becking IH , el diámetro medio cuadrático dg y el volumen del rodal V (dentro del rango

de datos utilizados en la construcción del diagrama), se obtienen las expresiones que permitan representar las isolíneas de dichas variables. Estas isolíneas se superponen en un diagrama cartesiano con la altura dominante en abscisas y el número de árboles por hectárea en ordenadas, con lo cual queda definido el DMD, como se muestra en las Figuras 5 y 6.

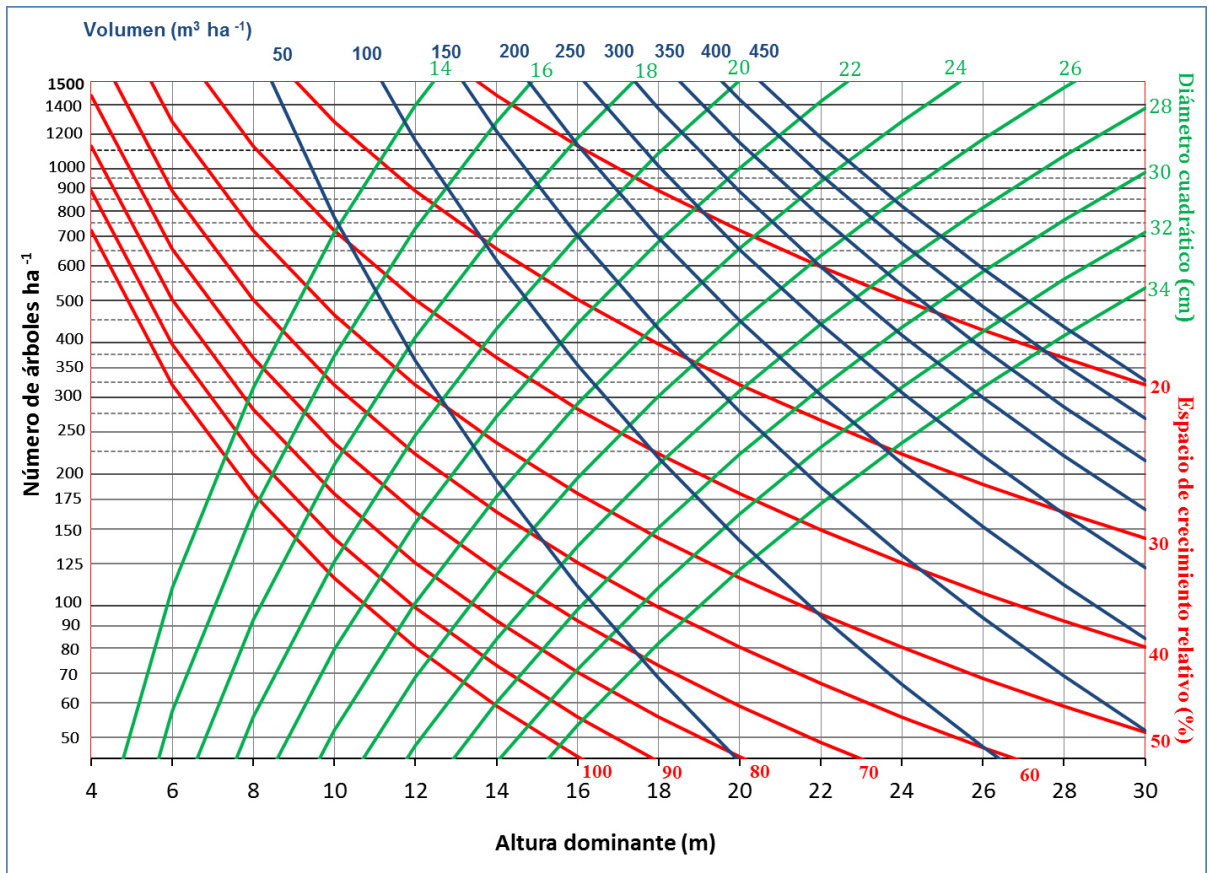


Figura 5. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus cooperi* en el que se aprecian las distintas líneas de valores constantes (isolíneas) de volumen de rodal, diámetro medio cuadrático e índice de Hart-Becking.

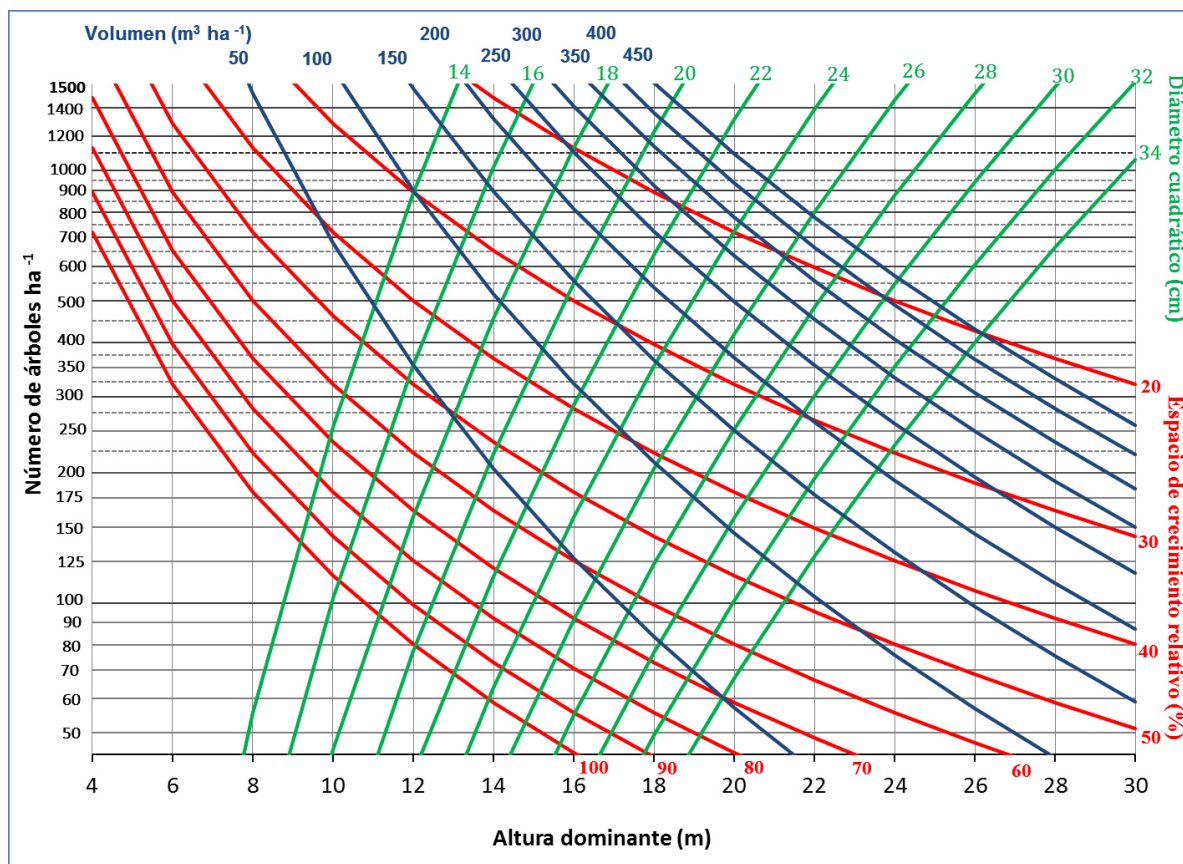


Figura 6. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en el que se aprecian las distintas líneas de valores constantes (isolíneas) de volumen de rodal, diámetro medio cuadrático e índice de Hart-Becking.

Los diagramas anteriores permiten caracterizar y controlar la densidad del rodal. Conociendo el diámetro medio cuadrático, altura dominante e índice de espaciamiento relativo se obtiene un diagnóstico que dependiendo de los objetivos de producción, posibilita establecer programas de aclareos en el campo.

7.4 Descripción de las variables de ajuste para la línea de máxima densidad

De un total de 776 sitios se seleccionaron 60 para la especie de *Pinus durangensis* y 40 para *Pinus cooperi*, siendo utilizados para la construcción del diagrama de manejo de densidad, que son aproximadamente el 12 y 14 % del

total de sitios respectivamente. Los sitios que fueron considerados para el límite superior fueron los que expresaron una máxima de densidad al graficar el número de árboles (N) y el diámetro medio cuadrático (dg).

7.5 Ajuste del modelo de Reineke

Los resultados de ajuste del modelo de Reineke para los rodales de máxima densidad (N) usando la ecuación [6-19] permitieron obtener la línea de referencia promedio, para después determinar el límite superior de densidad gráficamente mediante la ecuación linealizada [6-20].

Valor de N para *Pinus durangensis* $N = 234,157.3 * dg^{-1.8}$

Valor de N para *Pinus cooperi* $N = 29,635.7 * dg^{-1.22}$

El comportamiento esperado de las pendientes es de -1.8 y -1.22 para *Pinus durangensis* y *Pinus cooperi*, respectivamente, se acercan a lo propuesto por Yoda (-1.5) en el principio del autoaclareo, en el cual explica que existe una relación de -3/2 o -1.5 entre el tamaño (volumen, área basal, biomasa, etc.) y el número de árboles por unidad de superficie. Aunque se ha visto que esta relación puede variar como fue en este caso y se puede deducir que varía por factores los cuales pueden ser: especie, sitio, edad y tolerancia a la sombra.

7.6 Ajuste del límite de máxima densidad en el DMD

Para obtener el límite de máxima densidad se utilizó la ecuación [6-20] en el plano cartesiano usando el programa Excel®, una vez establecido este límite se tiene una referencia del máximo número de árboles que puedan existir en un sitio a una altura dominante determinada.

Valor de N para *Pinus durangensis*

$$N = [234,157.3 * -0.14626^{-1.8} * H^{0.000123*-1.8}]^{1/(1-(-0.14626)*-1.8)}$$

Valor de N para *Pinus cooperi*

$$N = [29,635.7 * -0.20563^{-1.22} * H^{0.000045*-1.22}]^{1/(1-0.753386*-1.22)}$$

7.7 Esquema de cortas silvícolas usando los diagramas de manejo de la densidad

Para generar la secuela de aclareos con un diagrama de manejo se consideraron los siguientes puntos:

- 1) El estatus de la masa a la edad de rotación se define por altura dominante 21 m para *Pinus cooperi* y 25 m para *Pinus durangensis* y un diámetro medio cuadrático de 25.8 y 32.3 cm, respectivamente.
- 2) El límite superior de densidad se ha establecido como IH= 18 a 30% para que las especies de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis*, consigan un sitio adecuado que garantice a los árboles un buen vigor, estabilidad y los nutrientes necesarios para su desarrollo.
- 3) La frecuencia de los aclareos se basa en intervalos de crecimiento en altura dominante de 3 metros, de acuerdo con esquemas silvícolas propuestos para las especie de *Pinus* en Durango.

Teniendo en cuenta los puntos arriba mencionados se realizaron los diagramas (Figura 7 y 8) correspondientes a las especies *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis*, tomando en cuenta que la secuencia de los aclareos para alcanzar la cosecha final se obtiene ascendiendo paso a paso hacia atrás considerando el límite superior de densidad y el intervalo de cada corta para

alcanzar el punto objetivo (punto “g”). Los segmentos verticales (“ab”, “cd” y “ef”) representan la realización del aclareo, considerando que después del aclareo no existe mortalidad debido a competencia (o que se ha extraído en los aclareos) y, por lo tanto, se mantiene constante el número de árboles por hectárea. Hay que tener en cuenta que siempre existe la posibilidad de ocurrencia de mortalidad debida a plagas, enfermedades o factores meteorológicos, que no va a ser predicha por el diagrama.

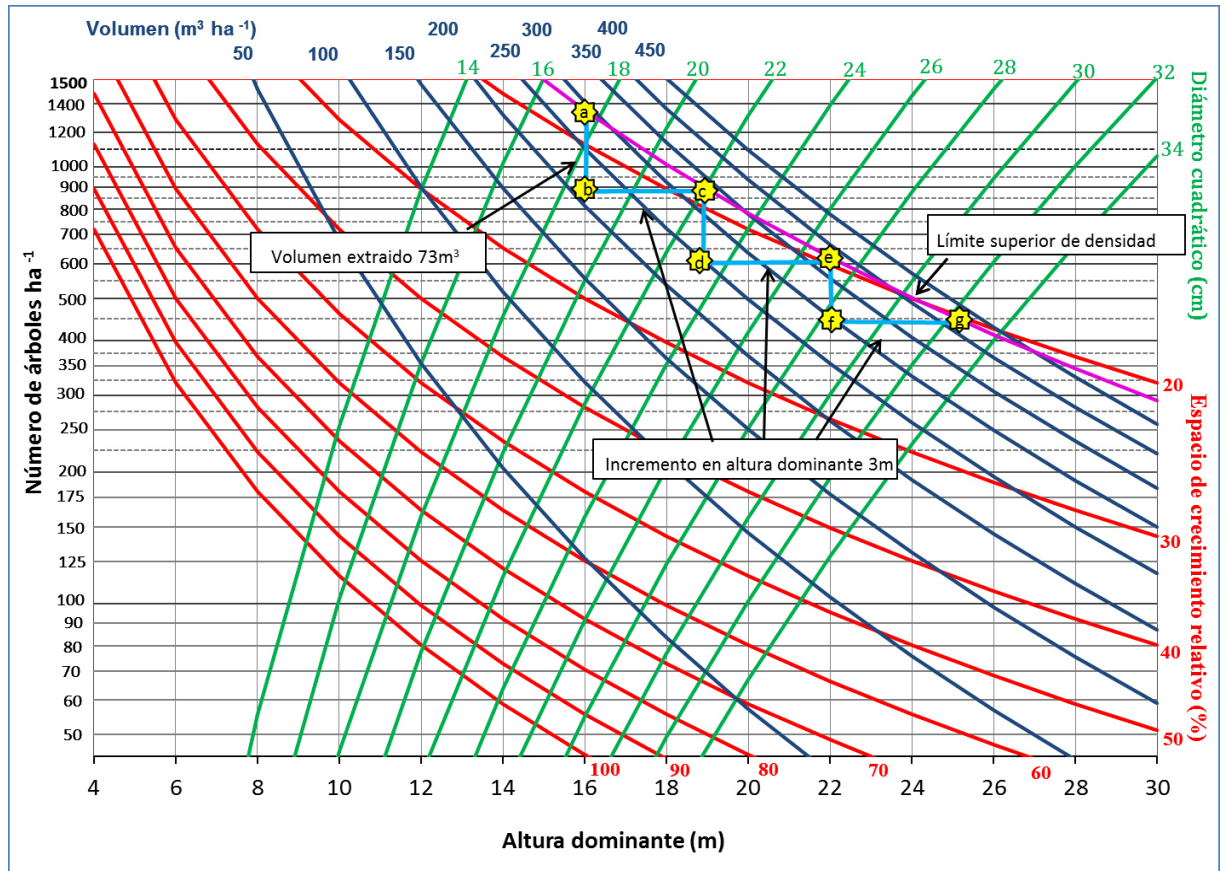


Figura 7. Ejemplo de aplicación de cortas un diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis*

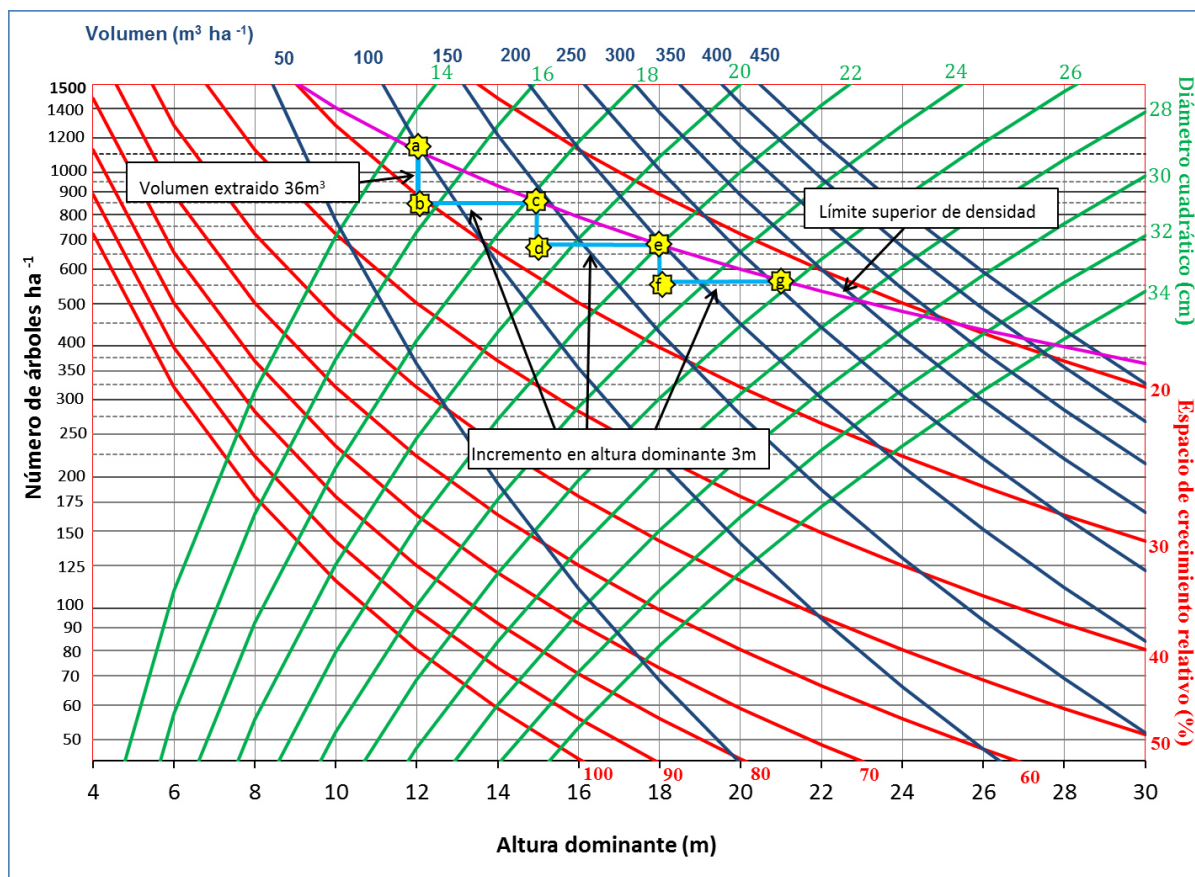


Figura 8. Ejemplo de aplicación de un diagrama de manejo de densidad para *Pinus cooperi*

Con densidades de manejo aproximadas al 20 a 22% de índice de densidad se logra maximizar la producción de madera de aserrío.

La isolínea de la altura permite realizar una mejor proyección de las intervenciones propuestas.

El turno técnico para especies de pino en Durango está establecido en 60 años con un ciclo de corta de 10 años. La variable tiempo no figura dentro de los diagramas de manejo de densidad, por lo que es conveniente desarrollar índices de sitio y tablas de producción para una estimación de corta más exacta.

8 CONCLUSIONES

- Por medio de un DMD se puede obtener información sobre el crecimiento y la producción de un rodal en un instante determinado de manera muy práctica y sencilla; basta con ubicar un punto dentro del diagrama y leer los valores dentro de los ejes para cualquier situación del rodal.
- La frecuencia de las intervenciones dependerá de la tasa de crecimiento, la que a su vez se ve afectada por la productividad y edad del rodal. Se debe considerar que el período entre aclareos será menor en rodales más productivos y jóvenes, pero también dependerá del producto final objetivo. En este sentido, para una adecuada planificación de las intervenciones futuras, el uso de estos diagramas puede ser apoyado con el método de la curva guía y modelos de crecimiento.
- Mediante el empleo de mediciones estándar (diámetro medio cuadrático, número de árboles y altura dominante), se puede determinar el volumen total de la masa y el índice de Hart-Becking. También se puede utilizar para determinar la dirección probable del desarrollo futuro de la masa.
- Los diagramas de manejo de densidad no se basan en ninguna hipótesis de evolución del número de árboles por hectárea, como ocurre con las tablas de producción, sino que cada usuario es quien determina su propio esquema de evolución, proponiendo aclareos por sí mismo.
- En la utilización de los DMD existen dos factores que determinan un esquema de aclareo: el estado al que se quiere llevar el rodal a la edad de corta y los límites inferior y superior de la densidad, que representan el máximo y mínimo crecimiento de masa.

9. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, C. O. A; Jiménez, P. J; Treviño, G. E. J; Meraz A. B. 1997. Evaluación de diversos tamaños de sitios de muestreo en inventarios forestales. Madera y Bosques. 3(1), 71-79.

Arizaga S. *et al.*, 2009. Manual de encinos michoacanos. INE. México. pp.4.doc.pdf.disponible en web: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/603/sideroxyla.pdf>

Barrio, A. M., Álvarez, G. J. G. 2005. Development of a stand density management diagram for even-aged pedunculate oak stands and its use in designing thinning schedules. Forestry. 78(3), 209-216.

Barrio, A. M., Balboa, M. M. A., Castedo, D. F., Diéguez, A. U., Álvarez, G. J. G. 2005. An ecoregional model for estimating volumen, biomass and carbón pools in maritime pine stand in Galicia (northwestern Spain). Forest Ecology and Management. 223, 24-34.

Barrio, A. M. Rojo A. A., Notivol P.E. 2009. Diagramas de manejo de la densidad para masas naturales de pino carrasco (*Pinus halapensis* Mill.) en la depresión del Ebro. Quinto Congreso Forestal Español. Montes y sociedad: Saber qué hacer. Pp 19.

Bravo F., Montero G., Del Rio M. 1997. Índices de densidad de las masas forestales. Revista Ecología. 11, 177-187.

Chauchard, L. M., Olalde F. M. 2004. Diagrama de Manejo de la Densidad de masas de *Pinus Radiata* en el país Vasco. Cuad. Soc. Esp. Ciencias Forestales Número 18, 161-166.

Colín J. G. 2008. Influencia de la competencia en el crecimiento en diámetro normal en los bosques de la región noroeste del estado de Durango. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. Pp 86.

Corvalán, V. P., Hernández, P. J. 2006. Densidad del rodal. Cátedra de Dasometría. Universidad de Chile. pp 5.

Diéguez, A. U., Rojo, A. A., Castedo, D. F., Álvarez, G. J., Barrio, A. M., Crecente C. F. 2009. Herramienta selvícola para la gestión forestal sostenible en Galicia. Xunta de Galicia. 259 p. ISBN: 987-84-692-7395-1.D.

Husch, B., Miller, C., Beers, T. 1993. Forest Mensuration. Krieger Publishing Company, Third Edition Malabar, Florida.

Kumar, M. B., Long, J. N. Kumar, P. 1994. A density management diagram for teak plantations of Kerala in peninsular India. Forest Ecology and Management. 74, 125-131.

Gerzan S. A., Ortega A., Andenmetten E. 2007. Diagramas de manejo de densidad para renovables de roble, raulí y coigüe en Chile. Bosque. 28(2), 97-105.

Márquez, L. M. A., Álvarez, Z. R. 1995. Construcción de una guía de densidad para *Pinus cooperi* var. *Ornelasi* con base en la clase de copa en Durango, México. Madera y Bosques 1(2), 23-36.

Monroy, R. C. R. 1997. Evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus patula* Schl. en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México. Pp 120.

Newton, P. F. 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. 98, 251-265.

Quiñones B. M. A. 2000. Caracterización silvícola y estructural de rodales de *Pinus pseudostrobus* Lindl en el sur de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México 89 p.

Quiñonez, B. G. 2014. Diagrama de manejo de la densidad basado en el modelo de Yoda para las masas mezcladas de la UMAFOR 1005 "Santiago Papasquiaro y Anexos". INIFAP. Desplegable para productores número 63.

Reyes, M. J. L.; Aguirre, C. O. A.; Jiménez, P. J.; Treviño, G. E. J.; Jurado, E.; González, L. R. F. 2011. Modelos de predicción del incremento en volumen para bosques mezclados del estado de Durango, México. Revista Chapingo 17(1), 103-113.

Tartarino P, Galante W., Greco R. 2007. Using the hart-becking spacing index in a study of the naturalisation of *Pinus halepensis* Miller plantation stands in the South-Eastern Salento península. Proceedings of the international workshop MEDPINE 3: conservation, regeneration and restoration of Mediterranean pines and their ecosystems, Bari: CIHEAM. pp. 175-188.

Torres, R. J. M., Velázquez, M. A. 2000. Índice de densidad relativa para rodales coetáneos mezclados. Agrociencia 34(4), 497-507.

Upalia B., R. 2002. Índice de Sitio para *Pinus cooperi* var. *Ornelasi* y *Pinus Durangensis* en el ejido La Ciudad, P.N., Dgo. Tesis de Ingeniería. Instituto Tecnológico de El Salto. El Salto, P.N. Durango.

Vacchiano, G., Motta, R., Long, J. N., Shaw, J. D. 2008. A density management diagram for Scots Pine (*Pynus Sylvestris L.*): A tool for assessing the forest's protective effect. Forest Ecology and Management 225: 2542-2554.

Valencia, V. J. 1994. Utilización del índice de densidad de Reineke en *Pinus douglasiana* en Atenquique, Jalisco. Ciencia Forestal en México 19(79):51-76.

Vargas, L. B., Cobos, C. F., Corral, R. J. J., Luján, S. J. E. 2011. Ecuaciones de volumen total y comercial para las especies de maderables de la UMAF 1008 "El Salto". ITES-UJED-ASRS. Informe técnico. El Salto, Dgo. pp.37.

Vargas L. B. 1999. Caracterización de la productividad y estructura de *Pinus hartwegii* Lindl. En tres gradientes altitudinales en el cerro Potosí, Galena, Nuevo León. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. Pp 93.

Zunino, C.E. 1996. Analisis de la teoría de auto-raleo en plantaciones de pino insigne (*Pinus radiata* D.Don). Tesis de ingeniería. Universidad de Chile. pp 73.